

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

А.А. Сидорова,
Томский политехнический университет
E-mail: sidorova@tpu.ru

Введение

Трудно представить современное производство без использования промышленных регуляторов. В настоящее время в АСУ ТП, часто встречающимся регулятором является пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор). Существование большого числа различных методов настройки ПИД-регуляторов технологических процессов [1–3] приводит к необходимости проведения сравнительного анализа разработанных методов и определению наиболее эффективного метода для конкретного класса объектов.

Сравнение полученных показателей качества для объективного анализа возможно при настройке ПИД-регуляторов, применительно к одному для рассматриваемых методов объекту управления (ОУ). В качестве ОУ был выбран непрерывный динамический объект с транспортным запаздыванием – пароперегреватель котла ТП-87, описываемый по каналу управления расход на впрыск – температура перегретого пара передаточной функцией [4]:

$$W_{ov}(p) = \frac{0.37}{(1.53p+1)(0.93p+1)} e^{-0.2p}.$$

Рассмотрим в качестве первого метода настройки ПИД-регуляторов в системах автоматического управления – метод Стогестада. Принцип синтеза регулятора – по идентифицированным параметрам модели ОУ находят необходимые параметры настройки регулятора. Для апериодического звена второго порядка с транспортным запаздыванием параметры ПИД-регулятора могут быть найдены по следующим формулам [5]:

$$k_p = T_1/k(T_c + \tau), T_i = \min[T_1; c(T_c + \tau)], T_d = T_2.$$

где T_1 , T_2 , k и τ – параметры объекта; c – параметр, который рекомендуют в [5] принимать равным 4, для обеспечения апериодического вида переходного процесса на выходе системы управления пароперегревателем котла.

Вопрос идентификации не рассматривался, принимался во внимание тот факт, что модель ОУ уже идентифицирована и известна. С учетом формул найдем настроечные параметры ПИД-регулятора по методу Стогестада:

$$k_p = \frac{1.53}{0.37(0.2+0.2)} = 10.3,$$

$$T_i = \min[1.53; 2(0.2+0.2)] = \min[1.53; 0.8] = 0.8$$

мин.

Далее рассмотрим модифицированный метод Циглера–Никольса [6]. Систему управления переведем в ручной режим работы, регулятор – в режим П-регулирования. Параметр k_p должен быть

увеличен до тех пор, пока на выходе контура управления не будет обеспечен подходящий вид переходного процесса (с некоторым перерегулированием). Модификация метода настройки заключается в том, что система не выводится на границу устойчивости. Тем самым класс объектов, к которым может быть применен данный метод настройки, значительно расширяется [7]. Вычисленные настроечные параметры ПИД-регулятора, для указанного выше ОУ по модифицированному методу Циглера–Никольса, представлены в табл. 2.

В качестве 3-го метода настройки ПИД-регулятора был выбран метод настройки Куна или метод «Т-правило». Параметром, характеризующим быстродействие любых рассматриваемых объектов, является суммарная постоянная времени [8]. Для системы с передаточной функцией общего вида:

$$W(s) = \frac{k_s(1+T_{d1}s)(1+T_{d2}s)\dots(1+T_{dm}s)}{(1+T_1s)(1+T_2s)\dots(1+T_ns)} e^{-sT_t},$$

$$T_\Sigma = T_1 + T_2 + \dots + T_n - T_{d1} - T_{d2} - \dots - T_{dm} + T_t.$$

Особенностью метода является возможность использования, как передаточной функции ОУ, так и переходной характеристики объекта на входное ступенчатое воздействие.

Метод настройки Куна основан на аппроксимации объекта звеном третьего порядка:

$$W(s) = \frac{k_s}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}, T_1 = T_2 = T_3 = \frac{T_\Sigma}{3}.$$

Передаточная функция прямого канала системы с ПИД-регулятором имеет вид:

$$W_{раз}(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \frac{k_s}{\left(\frac{T_\Sigma}{3} s + 1 \right)^3} = \frac{k_p k_s (1 + T_i s + T_i T_d s^2)}{T_i s \left(\frac{T_\Sigma}{3} s + 1 \right)^3}.$$

Параметры ПИД-регулятора T_i и T_d выбирают, таким образом, чтобы компенсировать два полюса, соблюдением следующего равенства:

$$\left(\left(T_\Sigma/3 \right) s + 1 \right)^2 = 1 + T_i s + T_i T_d s^2, T_i = 2T_\Sigma/3, T_d = T_\Sigma/6.$$

После компенсации двух полюсов передаточная функция замкнутой системы примет вид:

$$W_{зам}(s) = \frac{k_p k_s}{(T_i T_\Sigma/3) s^2 + T_i s + k_p k_s}.$$

Метод Куна подразделяется на быстрый и медленный. Быстрая настройка регулятора применима для систем с объектами 1,2-го порядка; нормальная («осторожная») настройка – для систем управления с ОУ более высокого порядка.

В качестве четвертого исследуемого метода настройки регуляторов был выбран метод Шеделя, основанный на принципе каскадного

коэффициента демпфирования. В методе обобщается понятие коэффициента демпфирования на случай системы 3-го порядка. Для системы с передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{k}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1},$$

$$a_1^2 - 4d_0^2 a_2 = 0, \quad a_2^2 - 4d_1^2 a_1 a_3 = 0.$$

Параметры ПИД-регулятора должны быть выбраны таким образом, чтобы коэффициенты демпфирования системы были $d_0 = \sqrt{2/3}$, $d_1 = 0.5$.

В случае ОУ с передаточной функцией вида:

$$W(s) = \frac{k e^{-sT_i}}{\prod_{i=1}^n (1 + sT_i)} \approx \frac{k e^{-sT_i}}{\tilde{T}_3^3 s^3 + \tilde{T}_2^2 s^2 + \tilde{T}_1 s + 1}$$

совершается переход к следующей форме:

$$W(s) = \frac{k}{T_3^3 s^3 + T_2^2 s^2 + T_1 s + 1},$$

$$T_1 = \tilde{T}_1 + T_i, \quad T_2^2 = \tilde{T}_2^2 + \tilde{T}_1 T_i + 0.5 T_i^2,$$

$$T_3^3 = \tilde{T}_3^3 + \tilde{T}_2^2 T_i + \tilde{T}_1 T_i^2 / 2 + T_i^3 / 6.$$

Параметры ПИД-регулятора рассчитываются по следующим формулам:

$$T_d = \frac{T_2^2}{T_1} - \frac{T_3^3}{T_2^2}, \quad T_i = \frac{T_1^2 - T_2^2}{T_1 - T_d}, \quad k_p = \frac{0.37 T_i}{k(T_1 - T_i)}.$$

При настройке ПИД-регулятора методом Шеделя сокращается время переходного процесса на выходе системы, незначительно увеличивается перерегулирование (менее 10 %) по сравнению с другими исследуемыми методами.

Таблица 1. Настройка регулятора по методу Куна

Вид настройки	Параметры регулятора		
	k_p	T_i	T_d
Нормальная	$1/k_s$	$0.66 T_\Sigma$	$0.17 T_\Sigma$
Быстрая	$2/k_s$	$0.80 T_\Sigma$	$0.12 T_\Sigma$

В табл. 2 представлены параметры настройки ПИД-регуляторов для систем с ОУ (пароперегреватель котла ТП-87) по исследуемым методам. На рис. приведено сравнение реакций систем с ПИД-регуляторами, настроенными по 4-м методам.

В качестве оценки для сравнения результатов, полученных при исследовании методов, выберем следующие показатели качества – перерегулирование σ и время переходного процесса.

Таблица 2. Параметры настройки и показатели качества систем с ПИД-регуляторами

Метод	k_p	k_i	k_d	σ , %	t_p , м.
Стогестада	10,3	12,9	9,6	13,4	7,4
Модиф.	8,0	2,1	7,6	0	8,8
Куна	5,4	2,5	1,7	1,8	2,8
Шеделя	332,5	125	242,7	7,4	0,1

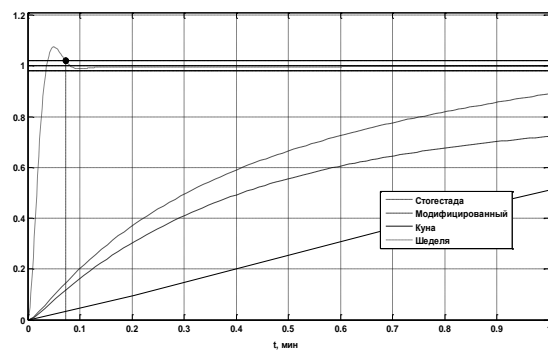


Рис. Переходные процессы на выходе систем с ПИД-регуляторами

Заключение

При настройке ПИД-регулятора по модифицированному методу Циглера–Никольса переходный процесс на выходе системы управления затянут. По сравнению с первоначальным методом, модификация обладает рядом преимуществ: отсутствие необходимости в выведении системы на границу устойчивости. Качество переходного процесса при настройке по методу Шеделя оказалось неплохим, однако, параметры настройки ПИД-регулятора в несколько раз превышают, найденные по другим методам. Настройка по методу Стогестада обеспечивает высокое перерегулирование на выходе системы по сравнению с другими методами.

Список использованных источников

1. Штейнберг Ш.Е., Сережин Л.П., Залуцкий И.Е. Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем регулирования // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – № 7. – С. 1–7.
2. Ключев А.С. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2009. – 368 с.
3. Willis M.J. Proportional-Integral-Derivative PID controls // Proceedings of IEE. – 2009. – № 10. – P. 150–163. URL: <http://www.PAControl.com>, (дата обращения 15.04.2017).
4. Смирнов Н.И., Сабанин В.Р., Репин А.И. Оптимизация одноконтурных АСР с многопараметрическими регуляторами // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 7. – С. 24–28.
5. Dorf R.C. Modern control system. – Boston: Pearson Education, 2008. – 1020 p.
6. Zigler J.C., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers. – N.Y.: Research Triangle Park, 1992. – 759 p.
7. Сидорова А.А. Исследование модифицированного метода настройки промышленного ПИД-регулятора // СТТ: Труды XVIII Международной научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 15–16.
8. Cohen-Coon tuning rules. URL: <http://blog.opticontrols.com/archives/383> (дата обращения 28.04.2012).